

## ОСОБЕННОСТИ ИДЕАЛИЗАЦИИ В РАСЧЕТАХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СЕЧЕНИЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

**Введение.** В связи с введением на территории Республики Беларусь Европейских норм по проектированию железобетонных конструкций взамен действующего нормативного документа СНБ 5.03.01 [2] разрабатывается группа технических кодексов установившейся практики РБ, основным из которых является ТКП «Бетонные и железобетонные конструкции. Строительные нормы проектирования. Часть 1. Основные положения». Учитывая всю сложность гармонизации европейских и отечественных нормативных документов, имеющих как общие подходы, так и существенные различия, в данной статье затронут вопрос, на наш взгляд, принципиально важный и в недостаточной мере освещенный, а именно – подход к идеализации модели сечений элементов сложной формы, таких как тавровые, двутавровые, коробчатые и т.д.

**Обзор методов идеализации моделей сечений сложной формы.** Железобетонные элементы с поперечными сечениями различных форм (таврового, двутаврового, коробчатого и др.) составляют значительную часть сборных и монолитных конструкций, тогда как данные о их работе под нагрузкой ограничены. Необходимость оценки влияния форм сечения элементов на несущую способность, деформативность и трещиностойкость возникает не только при изгибе и сжатии, но и, что особенно важно, при сложных видах напряженного состояния, таких как косое внецентренное сжатие, кривой изгиб, когда форма сжатой зоны имеет треугольное или трапециевидное очертание. Не в полной мере исследованы вопросы учета в расчетах сжатых и растянутых полок свесов в данных элементах.

В немногочисленных отечественных и зарубежных работах указывается на возможность влияния формы поперечного сечения на параметры, определяющие несущую способность, деформативность и трещиностойкость элементов, однако конкретных данных по этим вопросам имеется недостаточно, при этом, как правило, модели уже заранее идеализируются на основании имеющихся зависимостей, установленных в соответствующих нормативных документах.

Наиболее эффективной формой поперечного сечения железобетонных элементов, для которых характерна знакопеременная эпюра напряжений (испытывающих изгибающий момент, а также изгиб с осевой силой), является тавровое (двутавровое) (рис. 1). Тавровые и двутавровые сечения встречаются в практике повсеместно, как в отдельных железобетонных элементах – подкрановых балках, балках покрытий, фундаментных балках, арках, рамах, так и в составе конструкций – в монолитных ребристых и сборных панельных перекрытиях, монолитных фундаментах, различных вертикальных стенках конструкций. Данные сечения образуются из полок, соединенных ребром. Вследствие концентрации сжатой зоны бетона в тонкой развитой полке эффективно используются прочностные характеристики бетона при одновременном сведении растянутой зоны бетона к узкому ребру, непосредственно не участвующему в восприятии растягивающих усилий, а необходимого главным образом для установки рабочего продольного и поперечного армирования, а также сопротивления скалывающим усилиям.

Сжатые свесы полок тавровых сечений по своей длине работают неравномерно, что сказывается на их совместной работе с ребром в продольном направлении, которая не может быть в полной мере обеспечена. Это объясняется рядом причин, основными из которых являются местная потеря устойчивости свесов, их чрезмерный прогиб, а также возможный срез в месте сопряжения полки и ребра. При больших значениях ширины свесов удаленные от ребра участки свесов напряжены меньше, чем приближенные к ребру, поэтому сжимающие напряжения по ширине полки фактически распределены неравномерно, особенно в широких и тонких полках – у концов свесов они значительно меньше, чем вблизи ребра. Проис-

ходит это из-за депланиции (искривления) сечения по длине: деформации краев отстают от деформаций середины. Поэтому в расчетах по различным нормам идеализируют модель поперечного сечения, ограничивая ширину свесов  $b'_f$  таврового (двутаврового) сечения, учитываемую в расчете, заменяя ее на эквивалентную (эффективную) ширину свесов полки  $b_{eff}$  и полагая, что по всей площади сжатой зоны бетона действуют постоянные сжимающие напряжения (пунктирная линия на рис. 1). Основные немногочисленные зависимости для определения эффективной ширины свесов полки  $b_{eff}$  используемые в мировой практике, приведены в таблице 1.

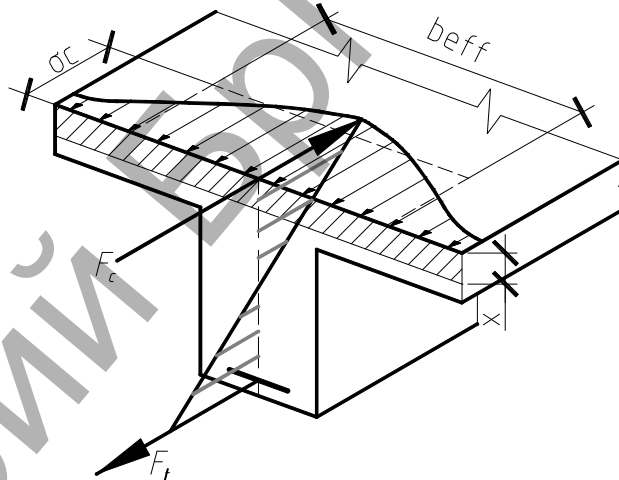


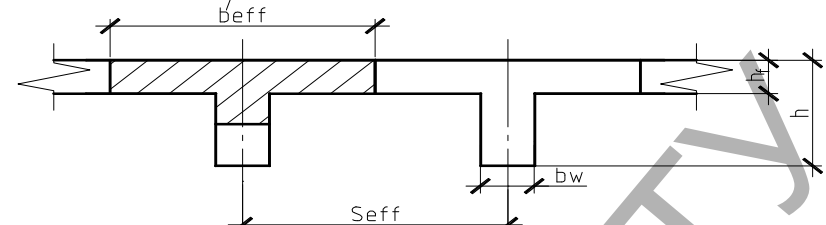
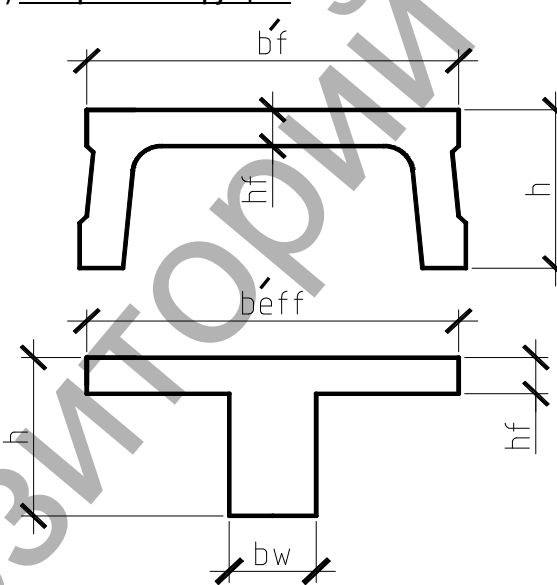
Рис. 1. Идеализация распределения напряжений в сжатых свесах таврового сечения

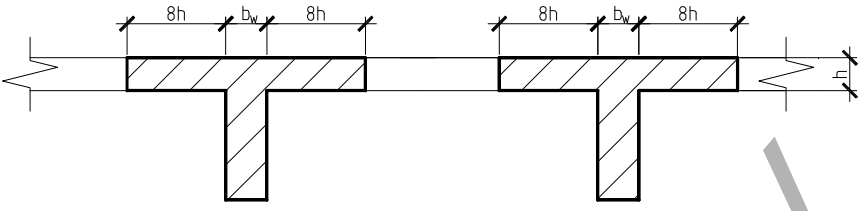
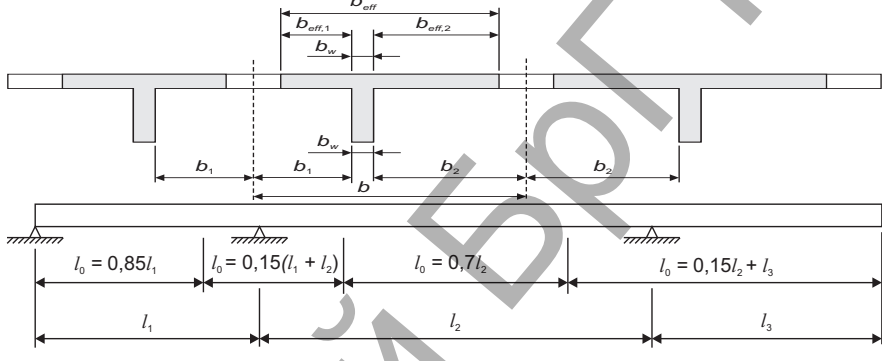
Анализ различных зависимостей, представленных в таблице 1, позволяет сделать следующие выводы:

- 1) существующие подходы к идеализации моделей сечений сложной формы различны, и по всей вероятности, будут отвечать различному уровню надежности конструкций;
- 2) большинство норм не связывает величину эффективной ширины свесов полки  $b_{eff}$  с соотношением  $h'_f / h$ , не разделяют элементы по форме поперечного сечения (Т- или П-образное) и изготовлению (сборные или монолитные), а также не учитывают дополнительных факторов в виде раскрепления из поперечных ребер и пр.;
- 3) точные методы расчета в виду сложности теории очень сложны, и поэтому в большинстве норм используется приближенный подход, основанный на немногочисленных и зачастую противоречивых экспериментальных данных.

Современные программные комплексы конечно-элементного моделирования позволяют достаточно точно произвести моделирование и расчёт различной степени сложности конструкций, не прибегая к дорогостоящему эксперименту. Поэтому было принято решение о создании моделирования тавровых сечений. В компьютерной среде Femap 10.2.0 была разработана твердотельная конечно-элементная модель таврового сечения в виде элемента ребристого перекрытия с фиксированными геометрическими размерами пролетов с загрузкой только равномерно-распределенной нагрузкой. Моделирование производилось с использованием конечных элементов типа solid. На первом этапе расчёт производился только в упругой стадии, и рассматривалось нормальное распределение напряжений и деформации в полке сжатых свесов при различных соотношениях  $h'_f / h$  (рис. 2).

Таблица 1. Идеализация принимаемой в расчеты по различным нормам проектирования ширины сжатых свесов полки в тавровых сечениях

Наименование нормативного документа	Величина эффективной ширины свесов полки
<div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 10px; margin: 10px;">                     СНиП 2.03.01-84[1]                      СНБ 5.03.01-02[2]                      СП 52-01-2003[3]                 </div>	<p><b>1) в монолитных конструкциях</b></p>  <p>а) при <math>h_f \geq 0.1h</math> при наличии поперечных ребер</p> <div style="border: 1px solid orange; padding: 5px; display: inline-block;"> <math display="block">b'_{eff} \leq b_w + 2 \cdot \left(\frac{1}{6} l_{eff}\right) \text{ и } b'_{eff} \leq b_w + 2 \cdot \left(\frac{1}{2} S_{eff}\right)</math> </div> <p>где <math>l_{eff}</math> – пролет элемента</p> <p>б) при отсутствии поперечных ребер или при расстоянии между ними большем, чем расстояние между продольными ребрами, и при <math>h_f &lt; 0.1h</math></p> <div style="border: 1px solid orange; padding: 5px; display: inline-block;"> <math display="block">b'_{eff} = b_w + 2 \cdot (6h_f)</math> </div> <p><b>2) в сборных конструкциях</b></p>  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block; margin: 5px;">             Действительное сечение         </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block; margin: 5px;">             Эквивалентное сечение         </div> <p>а) при <math>h_f \geq 0.1h</math></p> <div style="border: 1px solid orange; padding: 5px; display: inline-block;"> <math display="block">b'_{eff} \leq b_w + 2 \cdot (6h_f)</math> </div> <p>б) при <math>0.05h \leq h_f &lt; 0.1h</math></p> <div style="border: 1px solid orange; padding: 5px; display: inline-block;"> <math display="block">b'_{eff} \leq b_w + 2 \cdot (3h_f)</math> </div> <p>в) при <math>h_f &lt; 0.05h</math></p> <p>свесы в работе не учитываются – сечение принимается прямоугольным</p> <div style="border: 1px solid orange; padding: 5px; display: inline-block;"> <math display="block">b'_{eff} = b_w</math> </div>

Наименование нормативного документа	Величина эффективной ширины свесов полки
<p>ACI 318-05 [4]</p>	 <p>Эффективная ширина полки принимается</p> $b'_{eff} = b_w + 16h_f$
<p>EN 1992-1-1[5] ТКП EN 1992-1-1[6] DIN 1045-1[7]</p>	 $b'_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w \leq$ <p>при этом</p> $b_{eff,i} = 0,2b_i + 0,1l_0 \leq 0,2l_0, b_{eff,i} \leq b_i$ <p>Дополнительно для тавровых балок учитываются условия:</p> $b_{eff,i} \begin{cases} \leq 6h_{f,i} - \text{с двухсторонним вылетом полки} \\ \leq 4h_{f,i} - \text{при одностороннем вылете полки} \end{cases} \leq b_i$
<p>Economic concrete frame elements [8]</p>	<p>В зависимости от типа балки</p> <p>а) для однопролетных балок</p> $b'_{eff} = b_w + 0,2l_{eff}$ <p>б) для многопролётных балок</p> $b_{eff} = b_w + 0,14 l_{eff}$ <p>где <math>l_{eff}</math> – пролет элемента</p>
<p>Theory of Elasticity [9]</p>	$b'_{eff} = 0,85 \frac{4l_{eff}}{\pi(3 + 2\theta - \theta^2)}$

Исходя из численного расчёта, была установлена граница начала деформации сечений элементов, что позволило на основании данных расчётов ограничить эффективную длину зоны включения в работу бетона на сжатие. Применяя данный подход непосредственно к распределению нормальных напряжений по длине сжатых свесов

полки, были построены графики их распределения в зависимости от соотношения толщины полки к высоте ребра сечения ( $h'_f / h$ ) и отношения  $b'_f / l_{eff}$  (рис. 4).

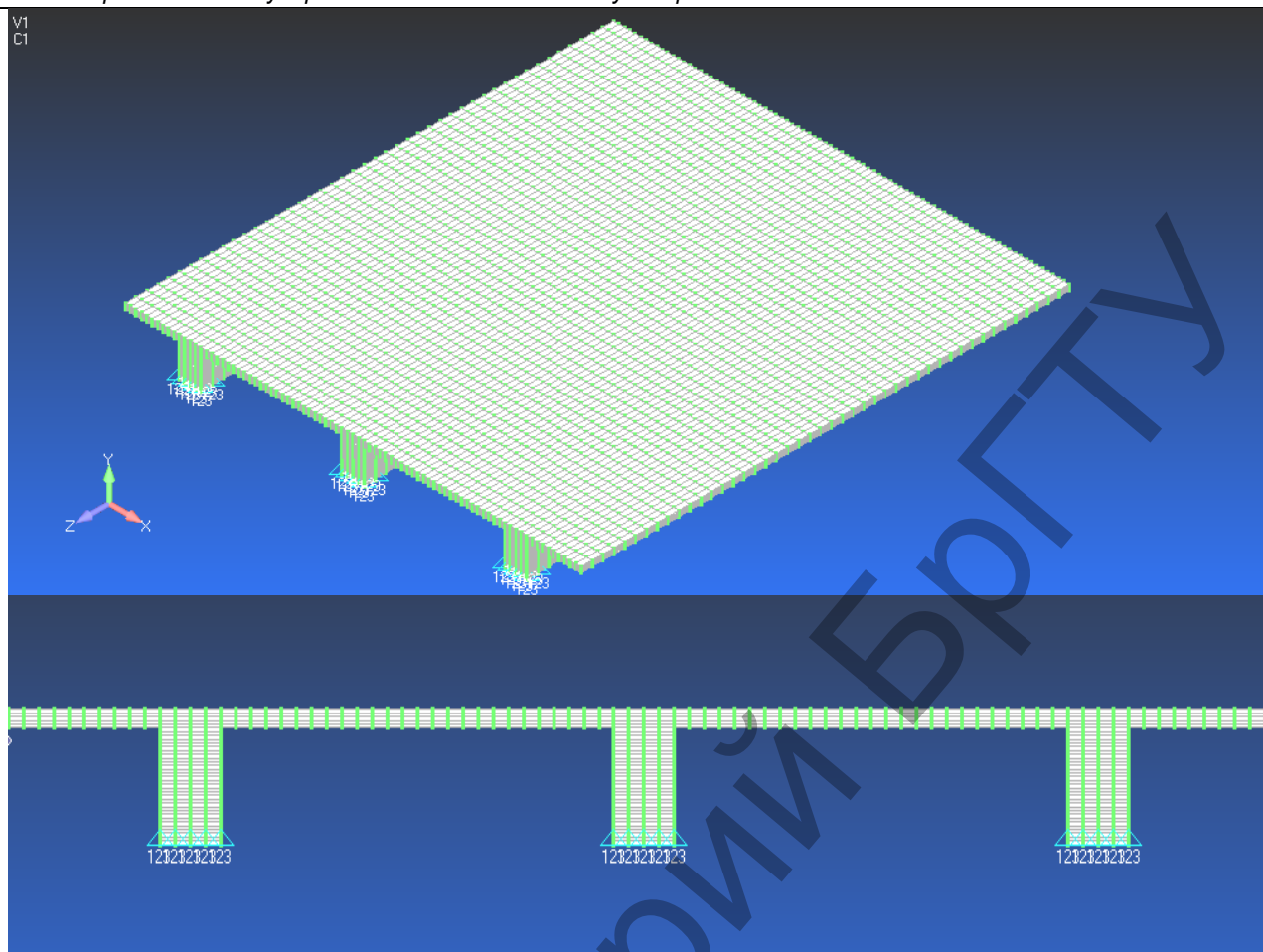


Рис. 2. Конечно-элементная модель ребристого перекрытия

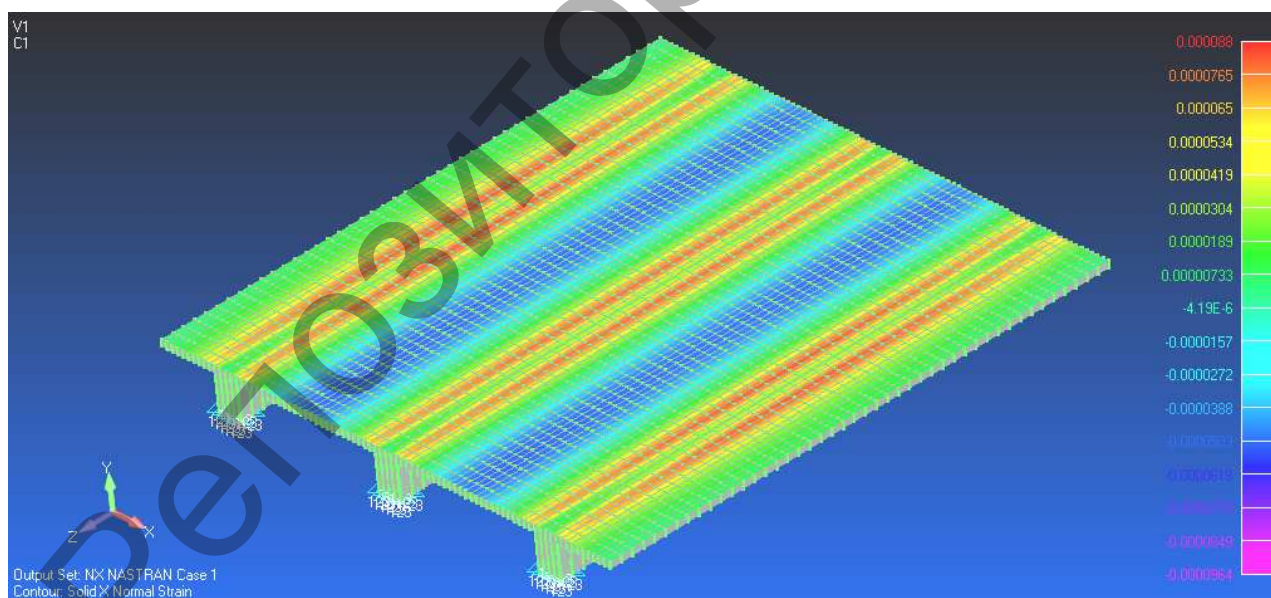


Рис. 3. Изополя эквивалентных деформаций

**Заключение.** Первоначальный анализ полученных данных позволил установить, что при высоком соотношении  $h_f / h \geq 0,1$  результаты численных расчетов по ограничению ширины полки близко соответствуют требованиям нормативных документов [1, 2] и, практически, на 40% превышают заложенное ограничение по ЕС 2 [5]. При этом для низких соотношений толщины полки к высоте ребра данные различия еще более существенны.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бетонные и железобетонные конструкции: СНиП 2.03.01-84. – М., 1985.
2. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01-02. – Мн.: Стройтехнорм, 2002. – 139 с.
3. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения: СП 52-01-2003. – М., 2003.
4. Building Code Requirements for Structural Concrete: ACI 318-05.

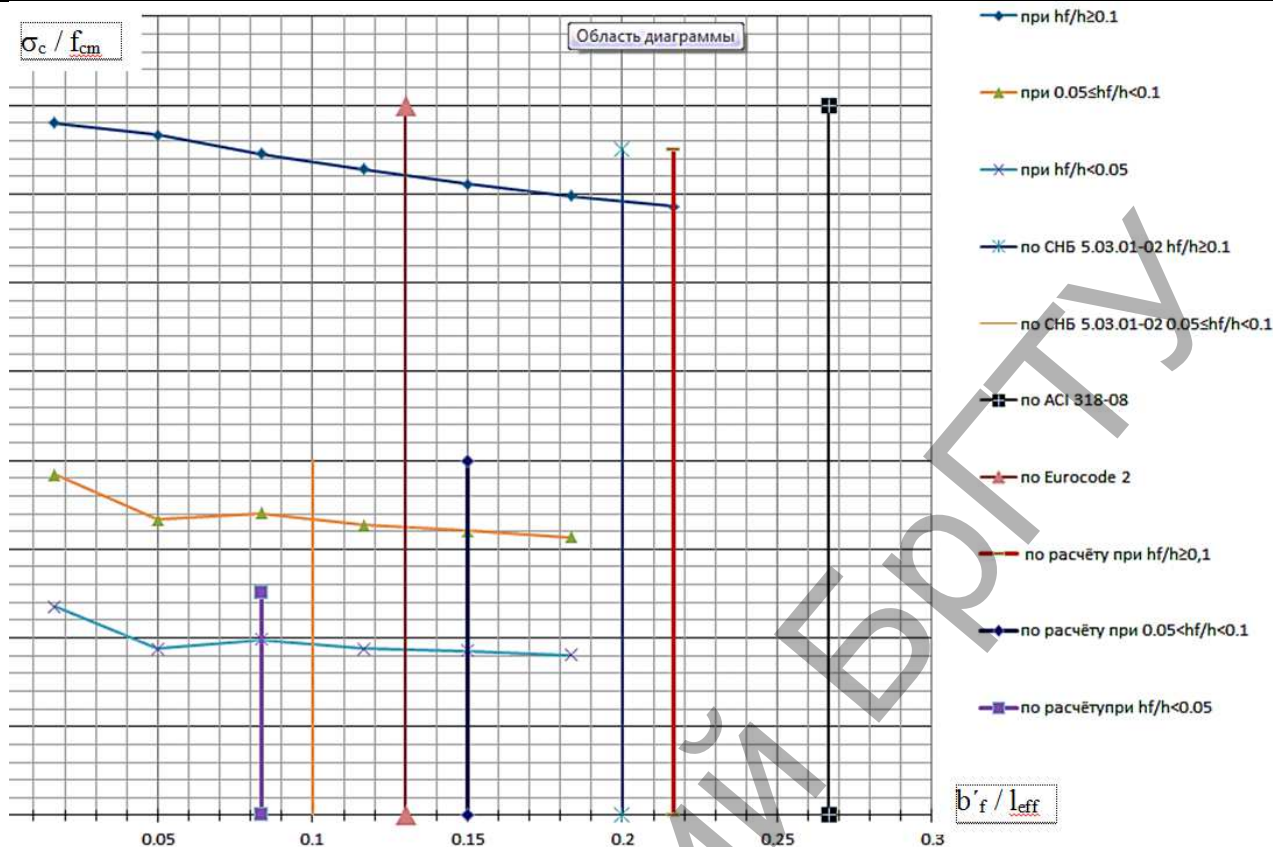


Рис. 4. Изменение распределения нормальных напряжений по длине свеса полки

- Design of concrete structures: EN 1992-1-1:1992. Eurocode 2. – Part 1: General rules and rules for buildings. – CEN, Brussels, 1991. – 176 p.
- Проектирование железобетонных конструкций: ТКП EN 1992-1-1-2009 (02250). Еврокод 2. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. – Ч. 1-1: Общие правила и правила для зданий.
- Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton: DIN 1045-1:2001. – Teil 1: Bemessung und Konstruktion. – Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2001. – 148 p.
- Economic concrete frame elements. C H Goodchild British cement association. Publication 97.358. 1997.
- Theory of elasticity By S. Timoshenko And J. N. Goodier. McGraw-Hill Book Company, inc. 1951.

Материал поступил в редакцию 04.03.13

SHALOBYTA N.N., MASILEVICH A.V., SHALOBYTA T.P. Features of idealization in calculations of ferroconcrete elements of sections of the difficult form

In article the analysis of approaches is provided to idealization of models of cross sections of elements of tavrovy and dvutavrovy forms and numerical approach to the behavior analysis свесов shelves of these sections.

УДК 69.05:658.512.6.001.24

Кузьмич П.М., Махнист Л.П., Михайлова Н.В.

### РАСЧЕТ КАЛЕНДАРНЫХ ПЛАНОВ С ВЕРОЯТНОСТНЫМИ ВРЕМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ РАБОТ

Широкому применению календарного планирования в строительстве, капитальном ремонте, реконструкции препятствует ряд проблем. Одной из них является дискретное задание продолжительностей работ. Практика планирования основана на расчете продолжительностей работ исходя из их трудоемкости (машиноемкости) и (или) принятого количества рабочих (машин). В то же время на продолжительность работ влияют различные дестабилизирующие факторы, которые приводят к срыву планируемых сроков выполнения

работ. Срыв сроков отдельных работ приводит к тому, что календарный план теряет свой смысл. Требуется его корректировка, изменение сроков выполнения работ, загрузки машин и механизмов, использования рабочей силы. Вместе с тем, следует признать, что полное совпадение действительных продолжительностей и сроков выполнения работ с заложенными в календарном плане является скорее редчайшей случайностью, чем признаком «высококачественного» планирования.

Кузьмич Петр Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры экономики и организации строительства Брестского государственного технического университета.

Махнист Леонид Петрович, кандидат физико-математических наук, заведующий кафедрой высшей математики Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.